DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und Prof. Dr. August Pütter

Fünfter Jahrgang. 10. August 1917. Heft 32.

Emissions- und Absorptionsspektren der Röntgenstrahlen.

Von Dr. Manne Siegbahn, Lund, Physikalisches Institut der Universität.

1. Einleitung.

Nachdem jetzt die Untersuchungen über die Röntgenspektren der chemischen Elemente so weit fortgeschritten sind, daß eine Orientierung über das ganze Gebiet möglich ist, scheint es angemessen, einen Rückblick über den Entwicklungsgang und die wichtigsten Ergebnisse dieser neuen Errungenschaft zu werfen. Es ist dies um so mehr erwünscht, als die Früchte dieser wissenschaftlichen Zweige in weit größeren Kreisen von Nutzen sein dürften, als nur in denen, welche sich bisher an der Erforschung dieser Fragen beteiligt haben. Besonders denken wir dabei an die Bedeutung der röntgenspektroskopischen Methoden für den Chemiker. Wenn auch die älteren Untersuchungen, z. B. von *Barkla* und seinen Mitarbeitern, gezeigt hatten, daß jedes chemische Element durch die von ihm bei geeigneter Erregung ausgesandten Röntgenstrahlen charakterisiert werden konnte, war diese Tatsache für chemische Zwecke nicht gut verwertbar. Die Lauesche Entdeckung der Interferenz der Röntgenstrahlen in Kristallen zusammen mit den experimentellen Arbeiten von *Bragg* u. a. hat eine wirkliche Spektroskopie der Elemente innerhalb der kurzen Wellen, wie sie die Röntgenstrahlen darstellen, ins Leben gerufen.

2. Unsere älteren Kenntnisse über die „charakteristischen" Röntgenstrahlen der chemischen Elemente.

Die Röntgenstrahlen entstehen bekanntlich dadurch, daß die in einem Vacuumrohr von der Kathode ausgeschleuderten negativen Partikeln (Elektronen, Kathodenstrahlen) mit großer Geschwindigkeit auf ein Hindernis (die Antikathode, bei den ersten Rohren sogar die Rohrwandung) aufprallen. Wie die spätere Forschung gezeigt hat, ist die beim Stoß der Kathodenstrahlen entstehende neue Strahlung von ganz derselben Art wie die Lichtwellen, nur sind die Wellenlängen weit kleiner. Während nämlich die früheren (sichtbaren) von der Größenordnung 0,000 04—0,000 08 cm sind, bewegen sich die Wellenlängen bei den Röntgenstrahlen zwischen den Grenzen 0,000 000 12 bis 0,000 000 008 cm und bei den wesensgleichen γ-Strahlen sogar bis herunter zu 0,000 000 007 cm.

Ehe man noch imstande war, die Wellenlängen der Röntgenstrahlen zu bestimmen, wurde zu ihrer Charakterisierung die Durchdringungsfähigkeit benutzt, und zwar wurde durchweg bei solchen Bestimmungen die Absorbierbarkeit in Aluminium verwandt. Dabei nimmt man an, daß die Intensität der Strahlung J nach Durchdringen einer Platte von der Dicke d, wenn die einfallende Strahlung J_0 war, bestimmt wird durch eine Gleichung von der Form:

$$J = J_0 e^{-\mu d} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1$$

μ wird der Absorptionskoeffizient genannt. Im allgemeinen bezieht man die Absorption statt auf Längeneinheit auf Masseneinheit. Der so erhaltene Massen-Absorptionskoeffizient $\frac{\mu}{\varrho}$ spielt für die älteren Messungen dieselbe Rolle wie jetzt die Wellenlängenangaben. Es sei hervorgehoben, daß eine Gleichung wie (1) nur dann gilt, wenn die Strahlung einigermaßen homogen ist.

Um die Ergebnisse der älteren Röntgenforschung überblicken zu können, ziehen wir die schematische Darstellung in Fig. 1 heran. Das vom Röntgenrohr kommende Strahlenbündel trifft die Platte AB und wird von dieser zum Teil durchgelassen. Außerdem aber entstehen beim Auftreffen noch drei verschiedene Strahlengattungen, Sekundärstrahlen:

1. zerstreute X-Strahlung,
2. charakteristische Röntgenstrahlung,
3. korpuskulare (β-) Strahlung.

Von diesen drei Strahlungen interessiert uns jetzt nur die „charakteristische" Strahlung, so genannt, weil die Eigenschaften (Absorbierbarkeit, Wellenlänge) derselben nur von dem Sekundärstrahler AB abhängen und für dieses Element bezeichnend sind. Die früheren Untersuchungen haben gezeigt, daß diese Strahlung homogen ist, d. h. sie folgt streng der Gleichung (1). Die Bestimmung des Absorptionskoeffizienten μ dieser charakteristischen Strahlung für eine Reihe von Elementen bildet den Gegenstand einer größeren Zahl von Arbeiten. Als allgemeine Ergebnisse stehen fest: 1. Jedes Element besitzt wenigstens zwei homogene Strahlungen (nach *Barkla* K- und L-Reihen). 2. Beim Fortschreiten zu Elementen mit größeren Atomgewichten werden die charakteristischen Strahlen härter, d. h. die Absorptionskoeffizienten kleiner, und zwar gilt dies sowohl für die K- wie für die L-Reihe.

Eine Zusammenstellung der Absorptionskoeffizienten findet sich in Tabelle 1. Es sind außerdem eingetragen die Werte der Halbwertsschicht, d. h. die Dicke einer Al-Platte, die die Hälfte der einfallenden Strahlung durchläßt.

Tabelle I.
Absorptionskoeffizient der charakteristischen Strahlung der Elemente im Aluminium.

Element	$\frac{\mu}{\varrho}$ cm/gm		Halbwert-Schicht in 10^{-2} cm		Element	$\frac{\mu}{\varrho}$ cm/gm		Halbwert-Schicht in 10^{-2} cm	
	K-Reihe	*L*-Reihe	*K*-Reihe	*L*-Reihe		*K*-Reihe	*L*-Reihe	*K*-Reihe	*L*-Reihe
13 Al	580		0,04		42 Mo	4,8		5,3	
20 Ca	435		0,05		47 Ag	2,5	700	10,3	0,04
24 Cr	136		0,19		50 Sn	1,57		16,4	
25 Mn	100		0,26		51 Sb	1,21	435	21,2	0,06
26 Fe	88,5		0,29		53 J	0,92	300	28	0,09
27 Co	71,6		0,36		56 Ba	0,8	224	32	0,12
28 Ni	59,1		0,43		58 Ce	0,6		43	
29 Cu	47,7		0,54		74 W		30		0,86
30 Zn	39,4		0,65		78 Pt		22,2		1,16
33 As	22,5		1,14		79 Au		21,6		1,19
34 Se	18,5		1,39		82 Pb		17,4		1,48
35 Br	16,3		1,57		83 Bi		16,1		1,6
37 Rb	10,9		2,35		90 Th		8,0		3,2
38 Sr	9,4		2,7		92 U		7,5		3,4

Die frühere Forschung hatte noch einige wichtige Eigenschaften der charakteristischen Strahlung erkannt, die wir aber lieber im Lichte der neueren Ergebnisse darlegen wollen. Nur sei auf einen Befund von *Kaye* hingewiesen, der für die Weiterentwicklung von größter Bedeutung ist und der besagt, daß die charakteristische Strahlung ebensogut durch Kathodenstrahlen direkt ausgelöst werden könne wie durch primäre Röntgenstrahlen. Da in dieser Weise, d. h. durch Anbringung des betreffenden Stoffes als Antikathode in einem Röntgenrohr weit kräftigere Strahlen erhalten werden können, ist dieses Verfahren später am meisten benutzt worden.

3. *Die Grundlage der röntgenspektroskopischen Methoden.*

Über die Interferenz der Röntgenstrahlen in Kristallen ist früher von berufener Seite in dieser Zeitschrift berichtet worden. Für unsere Zwecke genügt es darum, zu erinnern, daß ein Röntgenstrahl von der Wellenlänge λ, der eine Kristallfläche unter dem Glanzwinkel φ trifft, nur dann gespiegelt werden kann, wenn die Voraussetzung

$$n\,\lambda = 2\,d \sin\varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2$$

erfüllt ist. d ist der Abstand zwischen der Atomebene parallel der spiegelnden Fläche und der spiegelnden Fläche (welche selbst eine Atomebene sein muß); n ist eine kleine ganze Zahl, die die „Ordnung" der Reflexion angibt. Die Spiegelung geht immer so vor sich, daß der Einfalls- und der Ausfallswinkel gleich sind.

Die Bestimmung des zu einem gegebenen Röntgenstrahl gehörigen Reflexionswinkels φ gestattet daher nach Gleichung (2) die Berechnung der Wellenlänge λ, vorausgesetzt, daß d bekannt ist. Der Wert von d wurde zuerst für Steinsalz von *Bragg* bestimmt. Nimmt man an, daß die Na- und Cl-Atome abwechselnd in den Ecken von Kuben liegen, so muß einerseits $\varrho\, d^3$ das Gewicht pro Elementarkubus darstellen (ϱ = Dichte = 2,17), anderseits wissen wir, daß 1 Grammol, d. h. $23{,}05 + 35{,}45$ g der Substanz N (Avogadros Zahl) Moleküle enthält. Das Gewicht pro Molekül daher $\frac{58{,}50}{N}$ und pro Atom im Mittel $\frac{58{,}50}{2N}$.

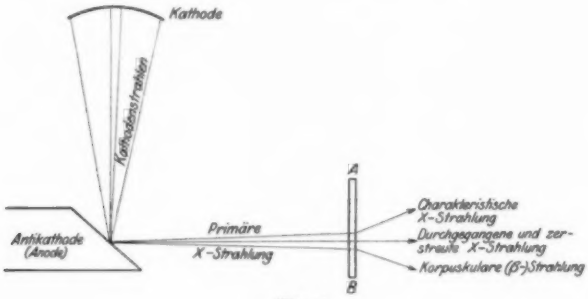

Fig. 1.

Wir erhalten dann zur Bestimmung von d

$$\varrho\, d^3 = \frac{58{,}50}{2\,N}.$$

Leider ist zurzeit der Wert von N nicht hinreichend gut bekannt. Man erhält etwa

$$d = 2{,}81 \,.\, 10^{-8} \text{ cm}.$$

Von einer Reihe von Autoren wurde der Wert zu

$$d = 2{,}814 \,.\, 10^{-8} \text{ cm}$$

gesetzt, wie er zuerst von *Moseley* berechnet ist und von *E. Wagner* als Ausgangswert vorgeschlagen wurde.

Durch vergleichende Messungen können dann die Gitterkonstanten anderer Kristalle auf diesen Wert bezogen werden. Von den bis jetzt am

meisten für spektroskopische Zwecke benutzten Kristallen sei angegeben (Spaltflächen):

	$d \cdot 10^{-8}$ cm
Kalkspat	3,028
Gips	7,621
Ferrocyankalium	8,454
Glimmer	etwa 9,9
Rohrzucker	etwa 10,5

4. Methoden der Wellenlängenbestimmung bei Röntgenstrahlen.

Die Benutzung der Gleichung (2) für Wellenlängenbestimmungen erfordert eine Methode, mit deren Hilfe das Eintreten von Reflexion an der Kristallebene bestimmt werden kann. Bei den ersten Untersuchungen wurde dies mit Hilfe einer Ionisationskammer gemacht, und zwar in der Weise, daß an einem gewöhnlichen Spektrometer das Kollimatorrohr durch zwei hintereinander gestellte Spalte ersetzt wurde; der reflektierende Kristall wurde am Spektrometertische montiert und statt des Fernrohrs die Ionisationskammer eingesetzt. Durch gleichzeitiges Drehen des Kristalls und der Ionisationskammer — die letztere immer um den doppelten Winkel — konnten dann die Winkelwerte φ aufgefunden werden, bei denen Reflexion eintrat. Allerdings ist diese Methode ziemlich mühsam und zeitraubend, noch dazu die Apparate nicht leicht zu handhaben. Durch geeignete Maßnahmen kann zwar die Arbeit erleichtert werden; wir erwähnen die selbstregistrierende Anordnung von *Compton*, doch steht bisher dieses Verfahren für *spektroskopische Zwecke* nicht auf der Höhe der zweiten, jetzt darzulegenden Methode.

Diese Methode benützt die Eigenschaft der Röntgenstrahlen, eine photographische Platte zu schwärzen. Stellt man hinter dem Kristalle senkrecht zur Verlängerung des einfallenden Strahls eine photographische Platte auf, so wird diese außer von der durch den Kristall direkt hindurchgegangenen Strahlung noch von einer Reihe am Kristalle reflektierter Strahlen geschwärzt. Die Voraussetzung, daß auch zu jeder im primären Strahlenbündel vorhandenen Wellenlänge ein Winkel φ nach der Bedingung $n\lambda = 2d \sin\varphi$ wirklich vorkommt, kann durch stetiges Drehen des Kristalles erfüllt werden[1]).

5. Spektrum eines technischen Röntgenrohres.

Wir gewinnen einen guten Einblick in die Natur der Röntgenspektra, wenn wir eine Spektralaufnahme bei einem gewöhnlichen technischen Röntgenrohre heranziehen. Fig. 2 zeigt eine selbstregistrierte Aufnahme (*A. H. Compton*), wenn an das Rohr mit Wolframantikathode eine Spannung von maximal etwa 40 000 Volt angelegt wurde. Als Gitter diente dabei ein Kalkspatkristall. Aus dem Spektrogramme ist zu sehen, daß das Röntgenlicht aus einem kontinuierlichen Spektrum mit einigen darüber gelagerten Spektrallinien zusammengesetzt ist. Ferner entnehmen wir aus der Aufnahme, daß das kontinuierliche Spektrum gegen kürzere Wellen (bei etwa $\lambda = 0{,}3 \cdot 10^{-8}$ cm) eine scharfe Grenze zeigt, während die Intensität nach längeren Wellen allmählich abnimmt, und zwar wird dies wesentlich durch

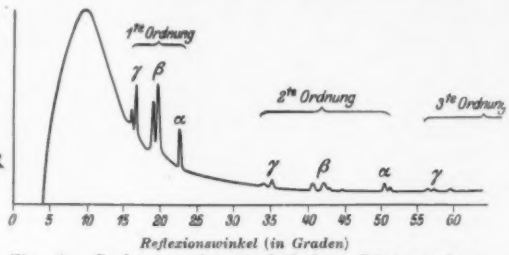

Fig. 2. Spektrum eines technischen Röntgenrohres (Coolidgerohr mit Wolframantikathode). Nach *Compton*.

die in der Glaswand des Rohres herbeigeführte Absorption der langen Wellen bedingt. Bezüglich der Grenze gegen kürzere Wellen kann man durch Aufnahmen bei verschiedenen Röhrenspannungen zeigen, daß mit steigender Spannung die Grenze nach kürzeren Wellen rückt. Wir kommen später auf diese Fragen zurück.

In erster Linie interessieren uns jetzt die überlagerten Spektrallinien. Wie nach der grundlegenden Gleichung (2) zu erwarten ist, treten sämtliche Linien in mehreren Ordnungen auf. Wie auch theoretisch gezeigt werden kann, nimmt die Intensität mit steigender Ordnungszahl ab. Es verhalten sich zum Beispiel bei Steinsalz die Intensitäten in 1., 2. und 3. Ordnung etwa wie 100 : 20 : 7.

Die in Fig. 2 ersichtliche Gruppe von sechs Linien bildet zusammen mit noch einigen schwächeren Linien die *L-Reihe des Wolframs*. Mit dem Werte von $d = 3{,}028 \cdot 10^{-8}$ cm an Kalkspat erhält man nach Gleichung (2) die zugehörigen Wellenlängen

$\lambda \cdot 10^{-8}$ cm	$\lambda \cdot 10^{-8}$ cm
1,058	1,278
1,064	(1,296)
1,095	1,471
1,241	(1,481)
(1,258)	(1,672)

Beim Erregen des Rohres mit höheren Spannungen, > 75 000 Volt, erhält man noch eine Gruppe von wenigstens drei Linien, die aber wesentlich kürzere Wellenlängen besitzen. Nach

[1]) Die Laue-Diagramme, die mit stillstehenden Kristallplatten und durchgehendem Licht erhalten werden, sind hiervon zu unterscheiden. Diese Aufnahmemethode beruht eben darauf, daß ein gewöhnliches Rohr ein kontinuierliches Spektrum aufweist, wodurch zu jedem vorgeschriebenen Winkel (innerhalb gewisser Grenzen) immer im Primärstrahl eine passende Wellenlänge sich findet. Bei dem oben beschriebenen Verfahren gilt es dagegen, zu einer vorausgegebenen Wellenlänge den entsprechenden Winkelwert aufzusuchen.

neueren Messungen von *Hull* und *Rice* sind die Wellenlängen:

$\lambda \cdot 10^{-8}$ cm
0,192
0,214
0,218

Diese Gruppe ist mit der früher besprochenen *K*-Reihe identisch.

6. *Die Röntgenspektren der Elemente.*

Die eben dargelegte Methode zur Untersuchung der Linienspektra ist bisher nur in einzelnen Fällen benutzt worden. Bei den ersten Arbeiten von *Bragg* wurden in dieser Weise die Hauptlinien des Pt, Os, Ir bei sämtlichen der *L*-Reihe, ferner die *K*-Reihe bei Pd, Rh, Cu, Ni bestimmt.

Einen wesentlichen Fortschritt brachte die Einführung der photographischen Methode von *Moseley* sowie von *de Broglie* und *Herweg*. Das Prinzip dieser Methode ist in 4. gegeben, die praktische Ausführung werden wir weiter unten besprechen.

Eine Durchmusterung des ganzen Spektralgebietes nach dieser Methode ist im unterzeichneten Institute von *Malmer, Friman, Stenström* und vom Verfasser ausgeführt. Wir wollen an Hand dieser Ergebnisse einen Überblick über den allgemeinen Charakter der Röntgenspektren der Elemente geben.

Eine übersichtliche Zusammenstellung findet sich in Fig. 3, wo die stärksten Linien jedes dritten

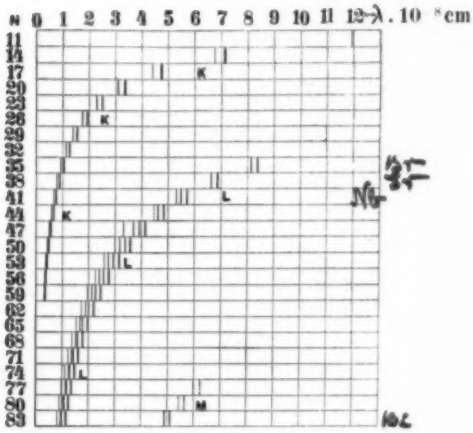

Fig. 3.

Elementes eingetragen sind. Außer den früher besprochenen zwei Gruppen der *K*- und *L*-Reihe findet sich hier noch bei den schwersten Elementen eine vom Verfasser gefundene dritte Gruppe: die *M*-Reihe. Man sieht aus der Figur, wie sämtliche Reihen mit steigendem Atomgewichte nach kürzeren Wellen rücken.

Überhaupt ist es auffallend, wie wenig die verschiedenen Gruppen sich von Element zu Element verändern. Die *K*-Reihe ändert sich von Al bis Sb kaum merklich, wenn wir von der Verschiebung in Wellenlängen absehen. Schon bei der *L*-Reihe kommen zwar kleine, aber doch bemerkenswerte Änderungen vor.

Bei der *M*-Reihe haben die jetzt vorliegenden Untersuchungen gezeigt, daß die Konfiguration der verschiedenen Linien ziemlich schnelle Änderungen erfährt.

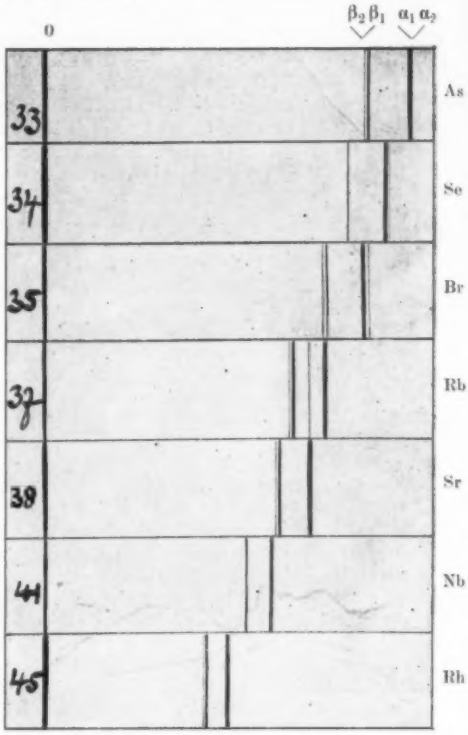

Fig. 4. *K*-Reihe.

Was ferner die einzelnen Liniengruppen betrifft, so können wir sie folgendermaßen charakterisieren. Die *K*-Reihe wird von einer starken Dublette α_1, α_2, einer Linie mittlerer Intensität β_1 und einer schwachen Linie β_2[1]) zusammengesetzt. Die Reihenfolge dieser Linien (α, β_1, β_2) ist von größeren zu kleineren Wellenlängen. Die Intensitäten verhalten sich etwa wie 6, 10, 4, 1 (Fig. 4).

Die *L*-Reihe (Fig. 5) können wir bei den schwersten Elementen in drei Unterabteilungen zerlegen, die α-, β- und γ-Gruppen mit mehreren Linien in jeder. Beim Fortschreiten nach leichteren Elementen fließen diese Gruppen zusammen.

[1]) Von einigen Autoren mit γ bezeichnet.

Bei den von uns benutzten Bezeichnungen sind innerhalb jeder Gruppe die Linien nach abfallenden Intensitäten numeriert ($\alpha_1, \alpha_2; \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5; \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$). Aus theoretischem Gesichtspunkt ist eine Bezeichnung, wie sie besonders von *Sommerfeld* eingeführt ist und bei der zusammengehörige Linien entsprechend bezeichnet sind, mehr befriedigend. Wir kommen später darauf zurück.

7. *Die Emission der Röntgenspektren.*

Wir hatten in 5. bei Besprechung des kontinuierlichen Spektrums eines technischen Rohres auf die bemerkenswerte Tatsache aufmerksam gemacht, daß das Spektrum erst bei einer gewissen Wellenlänge (von kürzeren Wellenlängen gerechnet) einsetzt. Untersuchungen von *Duane* und *Hunt*, *Hull* und *Webster* haben gezeigt, daß diese Minimalwellenlänge λ_{min} oder die dazu gehörige Maximalfrequenz ν_{max} eine der Quantentheorie entnommene Beziehung

$$eV = h\,\nu_{max} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3$$

erfüllt, wenn V die Röhrenspannung bezeichnet, e die Elementenladung, h die Plancksche Konstante. Wir betonen nochmals, daß ν_{max} die *größte* dem *kontinuierlichen* Spektrum zugehörige Frequenz darstellt. Was V betrifft, so ist diese Größe gleich der von Röntgenstrahl-erzeugenden Elektronen durchlaufenen Spannung. eV stellt daher die Energie der Elektronen beim Aufprall an der Antikathode dar. Die entsprechende Geschwindigkeit (u) bestimmt sich aus der Gleichung

$$\frac{1}{2} m\,u^2 = eV,$$

wobei m die Masse des Elektrons darstellt.

Anders verhalten sich aber die Linienspektren. Die Gleichung (3) ist hier nicht mehr streng erfüllt, doch zeigt die Erfahrung, daß die Gleichung auch hier von Nutzen sein kann. Berechnet man nämlich nach dieser Formel die zu einer gewissen Linienfrequenz (K-α-Linie) gehörige Spannung, so hat man den gefundenen Wert um etwa 15 % zu erhöhen, um die zur Erregung der bez. Spektrallinie nötige Spannung zu finden.

Wir gewinnen einen guten Einblick in den Emissionsvorgang bei den *Linienspektren*, wenn wir die Fig. 6 (nach Aufnahmen von *Webster*) heranziehen. Es wurde ein gasfreies (Coolidge-) Rohr mit Antikathode aus Rhodium mit konstanter Spannung aus einer Akkumulator-Hochspannungsbatterie betrieben und die Intensitätsverteilung nach der Ionisationsmethode bestimmt. Die Figur zeigt die Verteilungen bei 23 200 und 31 800 Volt. Bei der letzteren Spannung sehen wir ein kontinuierliches Spektrum mit dem darüber gelagerten K-Reihenspektrum des Rhodiums. Bei der kleineren Spannung aber ist von dem Linienspektrum keine Spur zu sehen, trotzdem die der K-Reihe entsprechenden Wellenlängen im kontinuierlichen Spektrum erregt werden. Daraus sehen wir, daß das Linienspektrum erst dann zur Erscheinung kommt, wenn die nach der Formel (3) berechnete Spannung mit einem gewissen Betrag überschritten ist. Ist dies aber der Fall, dann *erscheinen gleichzeitig sämtliche Linien der K-Reihe.*

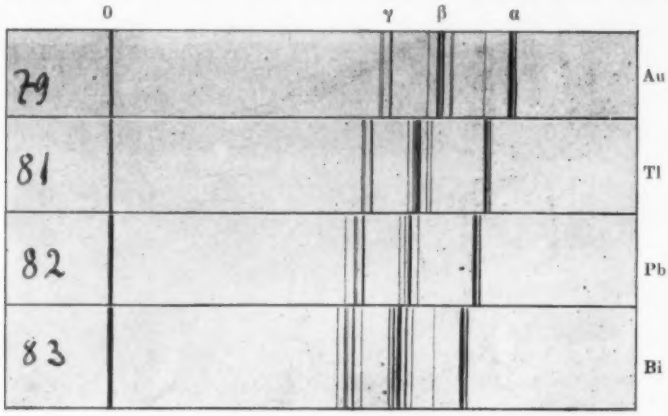

Fig. 5. L-Reihe.

Entsprechende Untersuchungen bei der L-Reihe liegen noch nicht vor, doch deuten die Absorptionsverhältnisse (siehe 8) darauf hin, daß dort zwei (oder vielleicht drei, *de Broglie*) Schwellenwerte der Spannung existieren.

8. *Die Absorption der Röntgenstrahlen. Absorptionsspektra.*

In nahem Zusammenhang mit den Erregungsbedingungen der Linienspektra steht der Absorptionsvorgang. Es ist seit langem bekannt, daß die Absorption der Röntgenstrahlen bei den Elementen eine rein atomistische Eigenschaft derselben ist, d. h. die Absorption ist nur von Zahl und Art der durchstrahlten Atome bestimmt, aber von dem Aggregatzustand oder der chemischen Bindung derselben unabhängig.

Auch in bezug auf die Absorption hat die neue Ära der Röntgenstrahlen eine wesentliche Erweiterung unserer Kenntnisse gebracht. Dies liegt vor allem darin, daß man jetzt imstande ist, wirklich monochromatische Strahlungen zu isolieren, während man früher höchstens mit einer Spektral-

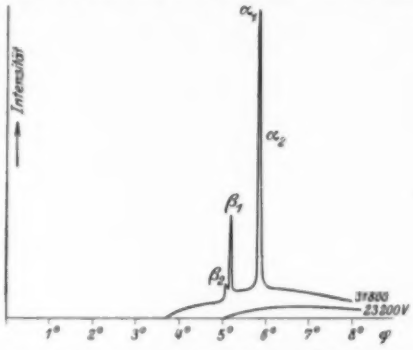

Fig. 6. Strahlung von einer Rh-Antikathode bei den Rohrentspannungen 23,2 KV und 31,8 KV. (Nach *Webster*.)

liniengruppe (*K*- oder *L*-Reihe) operieren konnte. So hat die neue Forschung gezeigt, daß man sogar von einem Absorptionsspektrum sprechen kann, wenn auch nicht in ganz demselben Sinne wie beim gewöhnlichen Licht.

Untersucht man z. B. in einem nach *J.* gebauten Röntgenspektrometer die Absorption bei

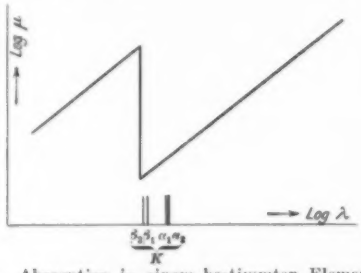

Fig. 7. Absorption in einem bestimmten Elemente als Funktion der Wellenlänge. Die eingezeichneten Linien zeigen die Lage der charakteristischen Wellenlängen. (*K*-Reihe.)

verschiedenen Wellenlängen, so erhält man ein Resultat, wie es die Fig. 7 veranschaulicht. In dieser Darstellung ist statt des durch Gl. (1) definierten Absorptionskoeffizienten μ sein Logarithmus eingetragen; ebenso ist statt der Wellenlänge log λ eingezeichnet.

Wie ersichtlich, ändert sich die Absorption in diesem Diagramme linear mit der Wellenlänge außer bei einer bestimmten Frequenz — der Absorptionsgrenzfrequenz —, wo die Absorption plötzlich von einem Wert zu einem anderen überspringt. Dies tritt bei einer Wellenlänge ein, die sehr nahe an der *K*-Reihe liegt, und zwar an der Seite der kürzeren Wellen.

Untersucht man in entsprechender Weise die Absorption im Gebiete der *L*-Reihe, so findet man statt eines jetzt zwei (event. drei) Sprünge in der Kurve.

Diese Absorptionsgrenzfrequenzen bilden ein ebenso gutes Charakteristikum der chemischen Elemente wie die Spektrallinien, besitzen auch ganz dieselbe Schärfe. In der untenstehenden Tabelle findet sich eine Zusammenstellung dieser Grenzfrequenzen nach *E. Wagner* und *de Broglie*.

Diese Wellenlängen sind sämtlich nach einer photographischen Methode gefunden. Photographiert man in der oben angegebenen Weise das von einem technischen Rohre ausgehende kontinuierliche Spektrum, so erhält man bei Einschalten einer absorbierenden Schicht im Strahlengang einen scharfen Übergang in der Schwärzung bei der Absorptionsgrenze der absorbierenden Substanz.

Tabelle IIa.
Absorptionsgrenzwellenlängen der K-Reihe.

N	Element	*Wagner*	*de Broglie*	N	Element	*Wagner*	*de Broglie*
26	Fe	1,759		52	Te	0,383	0,383
28	Ni	1,502		53	J	0,369	0,366
29	Cu	1,386	1,384	55	Cs		0,338
35	Br	0,926	0,914	56	Ba	0,331	0,325
37	Rb		0,809	57	La		0,310
38	Sr		0,764	58	Ce	0,298	0,298
40	Zr		0,681	60	Nd	0,282	
41	Nb		0,645	78	Pt		0,150
42	Mo		0,611	79	Au		0,146
46	Pd	0,513	0,503	80	Hg		0,143
47	Ag	0,490	0,479	81	Tl		0,139
48	Cd	0,468	0,458	82	Pb		0,135
50	Sn	0,425	0,419	83	Bi		0,131
51	Sb	0,405	0,398	90	Th		0,098

Tabelle IIb.
Absorptionsgrenzwellenlängen der L-Reihe.

N	Element	nach *Wagner*	nach *de Broglie*
78	Pt	1,072	1,067
	„	0,934	
79	Au	1,042	1,037
	„	0,914	0,898
82	Pb		0,945
	„		0,811
90	Th		0,756
	„		—
92	U		0,718
	„		0,588

Schon ohne jede absorbierende Substanz zeigt die photographische Platte bei Aufnahme des kontinuierlichen Spektrums zwei scharfe Schwärzungsgrenzen, die von der Absorption des Ag und des Br in der empfindlichen Schicht herrühren. Selbstverständlich sind die Schwärzungsverhältnisse

dann die umgekehrten als wenn die absorbierende Substanz sich außerhalb der Platte befindet.

Sind wir somit jetzt über die Lage der Absorptionsgrenze bei einer Reihe von Elementen unterrichtet, so haben die neueren Untersuchungen auch in betreff des allgemeinen Verlaufes der Absorption zur Klärung geführt. Um diese Fragen näher erörtern zu können, müssen wir zuerst einige begriffliche Distinktionen einführen. Nach Definition ist der „lineare" Absorptionskoeffizient μ aus der Gleichung

$$J = J_0 e^{-\mu d}$$

bestimmt. J_0 bezeichnet hierbei die Intensität des einfallenden (parallelen) Strahlenbündels, J die Intensität des durchgegangenen Strahlenbündels *in derselben Richtung abzüglich der sekundären* (zerstreuten, charakteristischen und korpuskularen) *Strahlung* in diesem Bündel.

Aus dem so bestimmten „linearen" Absorptionskoeffizienten erhalten wir durch Multiplikation mit $\frac{\text{wahrem Atomgewicht}}{\text{Dichte}}$ den Atom-Absorptionskoeffizienten $\varkappa$. Betreffend den letzteren haben jetzt *Bragg* und *Peirce* gezeigt, daß er proportional der 4. Potenz der *„Ordnungszahl"* N des Elementes ist. Die Ordnungszahl eines Elementes erhalten wir durch Numerierung der Elemente nach steigendem Atomgewicht $H = 1$, $He = 2$, usw. Physikalisch denkt man sich, daß diese Zahl ein Maß der *positiven Kernladung* der betr. Atome darstellt.

Untersucht man andererseits die Abhängigkeit der Absorption in einem *bestimmten Elemente* von der Wellenlänge der Strahlung, so findet man, wie oben bemerkt, daß zwischen ihren Logarithmen eine lineare Beziehung besteht.

Der Zusammenhang zwischen $\varkappa$ und λ kann daher durch eine Formel

$$\varkappa = A \lambda^c \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4a$$

dargestellt werden; A und c sind Konstanten, der letztere etwa 3.

Wollen wir die zwei gefundenen Gesetzmäßigkeiten in einer einzigen Formel zusammenstellen, so können wir schreiben

$$\varkappa = C N^4 \lambda^c \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4b$$

Wird λ in 10^{-8} cm ausgedrückt, so hat nach *Bragg* C den Wert $1{,}79 \,.\, 10^{-6}$ an der einen Seite des Absorptionssprunges, $0{,}235 \,.\, 10^{-6}$ an der anderen.

Es sei erwähnt, daß die älteren sorgfältigen Messungen besonders von *Barkla* und seinen Mitarbeitern bei Einführung der jetzt bekannten Wellenlänge der bei jenen Messungen verwandten charakteristischen Strahlen auch zum Aufstellen der obigen Formeln herangezogen werden können.

Wir wollen noch kurz eine neue Untersuchung von *Hull* und *Rice* über die Absorption bei *kürzeren* Wellen besprechen. Die oben definierte Absorption μ können wir zweckmäßig in zwei Teile zerlegen. Der eine Teil τ bedeutet den Energieverlust durch Umsetzung in Wärme, charakteristische Strahlung, korpuskulare Strahlung usw., der zweite Teil (σ) rührt von der diffus zerstreuten Strahlung her. Wir schreiben daher für den Massenabsorptionskoeffizienten

$$\frac{\mu}{\varrho} = \frac{\tau}{\varrho} + \frac{\sigma}{\varrho}$$

Die Zerstreuung σ kann aber nach der elektromagnetischen Theorie in erster Approximation proportional der Dichte ϱ gesetzt werden. $\frac{\sigma}{\varrho}$ wird daher eine universelle Konstante (*b*). Die Experimente von *Hull* und *Rice* zeigen jetzt, daß der andere Teil $\frac{\tau}{\varrho}$ proportional λ^3 gesetzt werden kann, so daß die vollständigen Formeln lauten:

$$\text{Al}: \frac{\mu}{\varrho} = 14{,}9\,\lambda^3 + 0{,}12$$

$$\text{Cu}: \frac{\mu}{\varrho} = 150{,}0\,\lambda^3 + 0{,}12$$

$$\text{Pb}: \frac{\mu}{\varrho} = 430{,}0\,\lambda^3 + 0{,}12$$

λ ist dabei in Angströmschen Einheiten auszudrücken. Wie die Formeln zeigen, wird das letzte Glied nur bei kürzeren Wellen resp. leichten Atomen bemerkbar.

(Schluß folgt.)

Über die Wirkung äußerer Reize auf das Blutbild des Säuglings.

Von

Dr. Rudolf Heß und Dr. Richard Seyderhelm.

(Laboratorium der Universitäts-Kinderklinik zu Straßburg i. Els.)

Das Blutbild des Säuglings unterscheidet sich von dem des Erwachsenen in erster Linie hinsichtlich der weißen Blutkörperchen. Das Neugeborene zeigt zwar eine prozentische Zusammensetzung, die der des Erwachsenen etwa entspricht, also um 70 % Polynucleäre, um 25—27 % Lymphocyten, der Rest sind Übergangsformen und Eosinophile. Diese Verhältnisse machen aber bereits nach wenig Wochen dem bekannten Bilde Platz, das fast eine Umkehr der prozentischen Werte beim Erwachsenen darstellt. Wir finden nämlich im Säuglingsalter und darüber hinaus bis zum 5.—6. Lebensjahre eine relative Lymphocytose von ca. 65 % Lymphocyten. Die Gesamtzahl der weißen Blutkörperchen entspricht dabei etwa der des Erwachsenen.

Im folgenden sollen Untersuchungen über die Wirkung äußerer Reize auf diese Zusammensetzung mitgeteilt werden. Dabei sollen alle die Maßnahmen und Einwirkungen nicht in den Kreis näherer Betrachtung gezogen werden, bei denen ein Agens *direkt* dem Körper einverleibt wird. Als äußere Reize lassen sich für die folgenden Betrachtungen zwei Reihen aufstellen: 1. solche mit biologischer Wirkung und 2. solche mit vorwiegend reflektorisch-mechanischer Wirkung.

Unter die erste Reihe mit biologischer Wirkung fallen z. B. die Röntgenstrahlen, Radiumstrahlen, das Sonnenlicht und der elektrische Strom in verschiedener Applikationsart.

Die zweite Gruppe umfaßt: hydrotherapeuti-

sche Wirkungen, thermische Einflüsse, Einwirkungen der Muskelbewegungen. Diese Teilung ist etwas schematisch, da der Trennung in die beiden Gruppen teils noch ungeklärte Tatsachen unterlegt sind; sie entspricht also zunächst nur äußeren Gesichtspunkten.

Was nun die *Wirkung* auf das *Blutbild* angeht, so greifen die *biologisch* wirksamen Methoden direkt an den Blutbildungsstätten und an den strömenden Elementen an. Am deutlichsten ist die Einwirkung bei den Röntgenstrahlen, die schon beim normalen Menschen eine intensive Leukocytose mit später folgender Leukopenie hervorrufen. Wie tiefgreifend die Wirkung ist, geht daraus hervor, daß mit der Höhe der Leukocytose der Cholingehalt (des Blutes) vermehrt gefunden wird. Untersuchungen am gesunden *Säugling* fehlen allerdings hier noch.

Auch von den Sonnenstrahlen sind recht intensive Wirkungen bekannt. Am Erwachsenen — hier hauptsächlich bei Tuberkulose — führt die Sonnenstrahlung zu einer deutlichen Vermehrung der Lymphocyten. Junge Kinder, die *Aschenheim* der Sonne aussetzte, reagierten gleichfalls mit ziemlich erheblicher Lymphocytose.

Deutlicher noch als am gesunden Organismus sind die biologischen Wirkungen beim Kranken. Wir wissen besonders von den Röntgenstrahlen, daß gerade Blutbilder mit enormer Vermehrung der weißen Formen intensiver Beeinflussung zugänglich sind. Was hier im Zusammenhang mit der physiologischen Lymphocytose noch besonders interessiert, ist die Tatsache, daß die lymphoide Leukämie durch Röntgenstrahlen stark beeinflußt wird und daß die Lymphocyten abnehmen. Für den *elektrischen Schwachstrom* fanden *Seyderhelm* und *Veraguth* vor einigen Jahren einen prägnanten Unterschied zwischen seiner Wirkung auf normale und pathologische Blutbilder. Während die Röntgenstrahlen ja auch auf den Gesunden intensiv einwirken, konnten *Seyderhelm* und *Veraguth* für den elektrischen Strom nur einen deutlichen Einfluß auf anormale Blutbilder nachweisen. Vor allem waren es die pathologisch vermehrten *Lymphocyten,* die durch den Strom vermindert wurden. Die Erklärung für das Verschwinden derartiger Zellformen unter biologischen Einflüssen ist folgende: Man darf wohl als gesichert annehmen, daß die rasche Vermehrung, die die Überschwemmung des Blutes mit diesen Elementen herbeiführt, unfertige Zellen hervorbringt und daß die unfertigen Zellen weniger resistent sind.

Unter diesen Voraussetzungen lag für den Pädiater der Gedanke nahe, die biologische Wertigkeit auch der *physiologischen Lymphocytose* des Säuglingsblutes zu untersuchen. In der Annahme, daß die Lymphocytose nur eine Übergangserscheinung der frühen Kindheit darstellt, und in der Voraussetzung, daß das Blut des wachsenden Organismus vielleicht empfindlicher als das des normalen Erwachsenen ist, übertrugen wir die Methode von *Veraguth* und *Seyderhelm* auf den Säugling. Röntgenuntersuchungen verboten sich wegen der Gefährlichkeit von selbst. In einer großen Zahl von Untersuchungen wurde der Säugling einem elektrischen Schwachstrom von 10—20 M.-A. und ca. 40 Volt ausgesetzt. Wenn Stromschwankungen vermieden werden und der Strom allmählich einschleicht, scheinen keinerlei störende subjektive Sensationen aufzutreten. Diese müssen allerdings ausgeschaltet werden, da der Säugling sonst schreit und dadurch die Untersuchung stört, wie das noch später auseinanderzusetzen ist.

Das Ergebnis unserer Versuche läßt sich dahin zusammenfassen, daß die physiologische Lymphocytose des Säuglings durch den elektrischen Strom *nicht* beeinflußt wird. Die Zahl der Gesamtleukocyten und die Zahl der Lymphocyten bleibt unverändert. Es treten auch im Blutbild keinerlei Reizformen auf. Gegen den elektrischen Strom sind also die normalen Lymphocyten des Säuglingsblutes genau wie die normalen Lymphocyten des Erwachsenen unempfindlich. Ein vermehrter Zerfall wie bei pathologischer Lymphocytose des Erwachsenen tritt nicht auf.

Wie verhält sich nun die pathologische Lymphocytose beim jungen Kinde? *Seyderhelm* konnte bei Erwachsenen an Fällen von lymph. Leukämie eine deutliche Verminderung der Lymphocyten durch den Strom nachweisen. Er nimmt an, daß diese Lymphocyten, die im wesentlichen frühe Jugendformen sind, gegen den elektrischen Strom wenig resistent sind, ähnlich wie gegen die Röntgenstrahlen. Auch in einem Falle von Pertussis hatte er einen ähnlichen Erfolg. Wir gingen deshalb daran, gerade die Pertussislymphocytose, die in der Literatur erwähnt wird, dem elektrischen Strom zu unterwerfen. Die Untersuchungstechnik ist aus noch zu besprechenden Gründen nicht ganz einfach.

Wir konnten bisher — es handelt sich nur um wenige geeignete Fälle — eine nur geringe Verminderung der Lymphocyten nachweisen. Einige Male blieb sie überhaupt aus. Mit einer gewissen Vorsicht wäre also anzunehmen, daß die Lymphocyten der Pertussis biologisch nicht so minderwertig sind, wie die bei essentiellen Blutkrankheiten. In diesem Fall dient also der elektrische Strom als Hilfsmittel für die Charakterisierung der Lymphocytose.

Die technischen Schwierigkeiten, die schon angedeutet wurden, haben in beiden Versuchsreihen ihren Grund in einer Erscheinung, der bisher beim Säugling sehr wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde, und auf die wir selbst erst durch Beobachtungen bei Anwendung des elektrischen Stromes geführt wurden. Das schreiende Kind zeigt nämlich eine gewaltige Veränderung seines Blutbildes. In eingehenden Versuchen konnten wir nachweisen, daß durch das Schreien die Gesamtzahl der Leukocyten plötzlich anstieg, und zwar um zuweilen 8000 Elemente im Kubikmillimeter Blut.

Beruhigt sich das Kind wieder, so ist innerhalb einer halben Stunde diese Zellvermehrung abgeklungen. Wir fanden z. B. bei einem ruhenden Säugling 8000 Leukocyten; nachdem er 5 bis 10 Minuten geschrien hatte, stellten wir 12 000 im Kubikmillimeter fest. Diejenigen Zellformen, die an der Vermehrung beteiligt sind, sind nahezu ausschließlich die *Lymphocyten.*

Wie ist dieser ganze Vorgang zu erklären? Zweifellos handelt es sich nicht um Neubildungen; dazu ist die Zeit viel zu kurz. So braucht es nach Röntgenbestrahlung *Stunden,* ehe die jungen Zellformen erscheinen. Ferner konnten in den Blutpräparaten Jugendformen nicht beobachtet werden.

Wir kennen nun vom Erwachsenen her und aus dem Tierversuch Erscheinungen, die wohl mit diesen Befunden in Parallele zu setzen sein dürften. Nach starken körperlichen Anstrengungen treten Zellvermehrungen auf, die in vielen Fällen nach anfänglicher polynukleären Leukocytose zum Schluß zu einer Lymphocytose führen. So z. B. bei langem Marsch und nach angestrengtem Rudern. Ferner auch beim epileptischen Anfall. Neuerdings beobachtete *L. R. Grote* das Auftreten einer neutrophilen Leukocytose im Anschluß an Krämpfe bei Tetanus. Die Leukocytose erwies sich abhängig von der Intensität der Muskelkrämpfe. Die Erklärung derartiger Vermehrungen der weißen Blutkörperchen wird von den meisten Autoren in einer mechanischen Ausschwemmung durch die Muskelbewegung gegeben. *Grawitz* glaubt allerdings auch ein myogenes Toxin annehmen zu müssen, das reizend auf die Depots der Leukocyten wirkt. Eindeutiger sind die Tierversuche. Wenn Kaninchen durch allmähliche Absperrung der Luft Erstickungskrämpfe bekommen, so tritt ebenfalls eine starke Lymphocytose auf. Diese bleibt aber aus, wenn die Erstickung ohne Krämpfe durch Zuleiten von CO_2 erfolgt.

Es läßt sich also soviel sagen, daß durch starke Muskelbewegung eine absolute Leukocytenvermehrung, und zwar eine Lymphocytose, eintritt. Für den Säugling bedeutet der ganze Vorgang des Schreiens eine recht intensive Muskelanstrengung, die in ihrer Wirkung ganz analoge Ergebnisse hat, wie angestrengte Arbeit des Erwachsenen oder Krämpfe beim Epileptiker oder beim Versuchstier. Es erhebt sich nun weiter die Frage nach der *Herkunft* dieser Lymphocyten. Daß sie nicht rasch ins Blut geworfene neugeborene Formen sind, wurde bereits erwähnt. Durch die Mechanik der heftigen Körperbewegung sind verschiedene Möglichkeiten gegeben. Man weiß von anderen Reizen, wie z. B. thermischen, daß auf ein kaltes Bad hin eine periphere Leukocytose auftritt. Diese wird teilweise durch Übertritt von Plasma aus den Kapillaren in die Gewebe erklärt; außerdem sollen durch die veränderten Strömungsverhältnisse, die der Kältereflex hervorruft, die Leukocyten von der Gefäßwand los- und in den Blutstrom mit hineingerissen werden. Doch ist das allein nicht als Ursache anzunehmen, da in diesem Fall Plasmaveränderungen gefunden werden müßten. Das konnten die Untersucher aber nicht beobachten.

Am wahrscheinlichsten scheint die Beteiligung der zentralen Lymphocytendepots, vor allem der Milz. Untersuchungen von *Walter Frey* haben ergeben, daß die Milzvene schon sehr viel mehr Lymphocyten führt, als die Arterie. Injizierte er (an Menschen und Tierversuchen) *Adrenalin,* so erfolgte eine gewaltige Überschwemmung des Blutes mit Lymphocyten. Diese blieb aber aus, wenn die Milz kurz vorher exstirpiert worden war.

Daraus geht hervor, daß in der Milz sicher ein leicht disponibles Lymphocyten-Depot besteht; ohne auf die mechanische Komponente, die gefäßverengende Wirkung des Adrenalins, einzugehen, kann man also wohl annehmen, daß beim Schreien durch intensive Betätigung der Bauchpresse aus der Milz hauptsächlich Lymphocyten ins Blut gepreßt werden. Die wesentliche Ursache der Schreilymphocytose ist also eine äußere, eine mechanische, zum Unterschied von der Lymphocytose der Strahlenwirkung.

Ähnliche mechanische Vorbedingungen sind auch beim Husten, besonders beim Keuchhustenanfall, anzunehmen. Wenn man die gewaltige Anstrengung und die folgende Erschöpfung bei einem Kind mit Pertussis sieht, so drängt sich diese Parallele sofort auf. Allerdings kennen wir aus der Literatur nur eine infektiöse bzw. postinfektiöse Lymphocytose der Pertussis. Diese besteht sicher auch zu Recht, da sie schon ganz im Beginn der Erkrankung nachweisbar ist. Aber es ist nicht zweifelhaft, daß auch eine mechanische Komponente an der Lymphocytose beteiligt ist, und das um so mehr, als die höchsten Leukocytenwerte (30 000) gerade aus dem anfallreichsten konvulsiven Stadium berichtet wurden (*Schneider*). Dies konnten wir auch sicher nachweisen. Wenn man einen Pertussispatienten unter einem leichten Narkotikum anfallsfrei durch mehrere Stunden halten kann, so läßt sich die *mechanische* Komponente ganz ausschalten. Das gelang in einem abheilenden Fall mit Adalin. Wir fanden nach längerer Ruhe normale Leukocytenwerte. Löste man jetzt einen Anfall aus, so trat prompt eine mechanische Lymphocytose auf.

Schwieriger ist dieser Versuch auf dem Höhepunkt der Krankheit, dem Stadium convulsivum, wo es bekanntlich auch durch Narkotika kaum gelingt, die Anfälle ganz zu unterdrücken. Wir haben aber zweifellos in der Lymphocytose der Pertussis eine Erscheinung vor uns, die zum Teil als *mechanische* Beeinflussung des Blutbildes aufgefaßt werden muß. Daß auch infektiöse Einflüsse dabei im Spiel sind, wurde bereits erwähnt. Dies geht noch weiterhin aus dem Umstand hervor, daß man im Blutbild der Pertussis auch Frühformen von Lymphocyten findet.

Nun liegt der Gedanke nahe, einmal durch den elektrischen Strom die pathologische, d. h. die

infektiöse Komponente der Lymphocytose, zu beeinflussen, andererseits durch Unterdrücken der Anfälle die mechanische Komponente auszuschalten.

Beide Überlegungen sind bereits dargestellt. Die Beeinflussung durch den Strom bedarf noch eingehender Studien. Immerhin ließe sich aus den Beobachtungen, die bisher gemacht werden konnten, sagen, daß der elektrische Strom einen nicht sehr bedeutenden Einfluß auf die Pertussislymphocytose ausübt. Damit ist noch nicht ausgesprochen, daß wir es *nur* mit einer *mechanischen* Lymphocytose zu tun hätten. Aber vielleicht gelingt es noch — eventl. mit Hinzuziehung der Röntgenstrahlen —, das kombinierte Bild der Pertussislymphocytose in eine mechanische und eine pathologisch infektiöse Komponente zu zerlegen.

Die mitgeteilten Beobachtungen aus dem Gebiet biologisch differenter Einwirkungen und der mechanischen Einflüsse erschöpfen noch keineswegs die bekannten Methoden und ihre Einflüsse auf das Blut. Es sei nur an die mannigfachen thermischen Reize, ihre reflektorischen Beziehungen und Wirkungen erinnert. Von diesen Dingen ist beim Säugling noch nicht viel untersucht. Immerhin geben die beschriebenen Methoden und Beobachtungen Fragestellungen, die in mancher Beziehung nicht unwichtig sein dürften.

Literatur:

Aschenheim, Vorl. d. Ges. f. Kinderheilk. 1913.
Walter Frey, Ztschr. f. d. ges. exp. Medizin 1914, III.
Grawitz, D. med. Wsch. 1910, Nr. 29.
Grote, D. med. Wsch. 1916, Nr. 31.
Heß und *Seyderhelm*, Münch. med. Wsch. 1916, Nr. 26 (ausf. Litt.).
Veraguth und *Seyderhelm*, M. med. Wsch. 1913, Nr. 40 und 41; 1914, Nr. 6.
Schneider, M. med. Wsch. 1914, Nr. 6; *Warnstedt*, Nord. Med. Ark. 1910.

Besprechungen.

Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie. Jahrbuch des Vereins deutscher Ingenieure, Herausgegeben von *Conrad Matschoß*. Bd. *VII*. Berlin, Julius Springer, 1917. IV, 192 S., 70 Textfiguren und 2 Bildnisse. Preis geh. M. 6,—, in Leinewand geb. M. 8,—, für Mitglieder des Vereins deutscher Ingenieure M. 4,50 bzw. M. 6,—.

Naturwissenschaft und Technik haben viele Berührungspunkte. Wenn auch in den Anfängen ihrer wissenschaftlichen Entwicklung die Technik als Tochter zur Naturwissenschaft heraufsehen und mangels eigener wissenschaftlicher Fähigkeiten ihren Lehren gehorsam folgen mußte, so hat sich dies Verhältnis zwischen beiden sehr bald geändert, und heute, wo die Technik ihre eigenen Methoden, Forschungsstätten und Vertreter hat, die nach ganz anderen Richtungen und mit ganz anderen Mitteln arbeiten, kann man die Beziehungen zwischen beiden höchstens noch als schwesterliche bezeichnen. Aber schwesterlich im besten Sinne des Wortes, indem sich beide gegenseitig fördern und befruchten, dabei sich als gleichwertig achten und eine der anderen neidlos ihr Arbeitsgebiet überlassen. Wie zum vollen Verständnis der Naturwissenschaft eine geschichtliche Erforschung derselben unerläßlich ist, so hat man auch seit einer Reihe von Jahren angefangen, die Geschichte der Technik aufzudecken. Gerade sie zeigt uns besonders deutlich, daß beide Gebiete, obwohl heut äußerlich ganz getrennt und selbständig fortschreitend, doch innig miteinander verwachsen sind, und daß der Techniker ohne die Naturwissenschaft nicht auskommen kann, wie auch der Naturwissenschaftler an der Technik nicht achtlos vorübergehen darf. Die Geschichte beider gehört mit in eine Kulturgeschichte der Menschheit, und auch die Philosophie der Zukunft muß sie in ihren Gedankenkreis als mächtigen Faktor menschlichen Fortschrittes einbeziehen und auswerten.

Das vom Verein Deutscher Ingenieure herausgegebene Jahrbuch zur Geschichte der Technik und Industrie bringt in seinem kürzlich erschienenen Kriegsband eine Reihe überaus wertvoller Aufsätze, die auch dem Nichtfachmann zeigen, welcher gewaltigen Anstrengung und rastlosen Arbeit es bedurfte, die einzelnen Teilgebiete der Technik auf ihre heutige Höhe zu bringen.

Die Elektrotechnik steht dem Naturwissenschaftler besonders nahe, wie er durch seine Teilnahme an der Siemens-Hundertjahrfeier auch zum Ausdruck gebracht hat. Da wird von ihm der Aufsatz von *Thomälen*: „Zur Geschichte der Dynamomaschine" zuerst gelesen werden, der an Hand der von der Familie *Siemens* herausgegebenen Briefe *Werner Siemens'* (Berlin 1916, Julius Springer) die Entstehung der Dynamomaschine, vom ersten Aufkeimen des dynamo-elektrischen Prinzipes an bis zur für die Praxis brauchbaren Maschine schildert. Eine vollständige Entwicklungsreihe wird uns, auch in Abbildungen, vorgeführt, an denen man nacheinander die fortschreitende Vervollkommnung durch Abstoßung des Unbrauchbaren und Ersatz durch Neues, Besseres erkennen kann. Gerade dieses Beispiel zeigt recht deutlich, welche Schwierigkeiten sich der praktischen Durchführung eines zunächst nur theoretisch erkannten Gesetzes entgegenstellen.

In gewissem Sinne eine Fortsetzung dazu bildet der Aufsatz von *Matschoß*: „Die geschichtliche Entwicklung der Berliner Elektrizitätswerke". Mit der technischen Ausbildung der Dynamomaschine allein war es nicht getan, es bedurfte ihrer vollen wirtschaftlichen Ausnutzung durch Zugänglichmachung des Stromes für alle Zwecke des gewerblichen und privaten Lebens. Das konnte nur durch große Kraftwerke erreicht werden, von denen die Berliner Elektrizitätswerke, die seit 1. Oktober 1915 in den Besitz der Stadt übergegangen sind, vorbildlich gewesen sind. Daß damit Hand in Hand eine weitere Vervollkommnung der Dynamomaschine ging, ebenso wie die Ausgestaltung des elektrischen Bogen- und Glühlichtes sowie des zugehörigen Verteilungsnetzes, schildert der Verfasser in anschaulicher Weise. Auffinden des Gesetzes, erste Versuchsmaschine, praktisch brauchbare Maschine, wirtschaftliche Ausnutzung im Großbetrieb; diese vier Entwicklungsstufen jeder Erfindung lassen sich hier recht deutlich erkennen; sie stellen gewissermassen eine Darwinsche Entwicklungsreihe dar, bei welcher der Kampf ums Dasein und die dadurch bedingte Zuchtwahl ihre Einflüsse geltend machen.

In enger Beziehung zur Naturwissenschaft steht auch der Aufsatz von *v. Rieppel* und *Freytag*: „Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der technischen Mechanik". Die heutige technische Statik ist aus der schon streng wissenschaftlichen Statik des Archimedes hervorgegangen, wenn sie auch wohl erst in den Händen eines *Leonardo da Vinci* aufblühte und durch *Galileo Galilei* weiterentwickelt wurde, der als erster

den Zusammenhang zwischen Statik und Dynamik erkannte.

Ihm schließen sich eine Reihe hervorragender Förderer dieser Wissenschaft an, so *Euler, Navier, Clapeyron, Castigliano, Culmann* und schließlich der heute im 80. Lebensjahre stehende *Otto Mohr*, der durch die grundlegende Erkenntnis der elastischen Linie als Seilpolygon und Aufstellung des Satzes von den virtuellen Verschiebungen eine neue Berechnung der statisch unbestimmten Fachwerke und Träger ermöglichte. Von welcher Bedeutung eine zuverlässige Berechnung der immer kühner werdenden Brücken, Eisenkonstruktionen und Eisenbetonbauten ist, weiß auch der Nichtfachmann einzuschätzen, aber wie lang und mühselig der Weg dazu war, wird erst durch die geschichtliche Betrachtung klar.

Mit dem Eisenbahnwesen befassen sich zwei Aufsätze von *Keller:* „Die Spurweite der Eisenbahnen und der Kampf um die Spurweite" und „Nicolaus Riggenbach". Eine gleiche Spurweite für alle Eisenbahnen eines Landes erscheint uns heute als selbstverständliche Forderung, und doch hat es viele Kämpfe in England und in Deutschland gekostet, aus dem Durcheinander absichtlich verschiedener Spuren eine Einheit zu schaffen. In Deutschland war es das kleine Ländchen Baden, das erheblich an der Einführung einer einheitlichen Spur mitgearbeitet hat. Der zweite Kellersche Aufsatz schildert den Erbauer der ersten Zahnradbahnen, der den von *Blenkinsop* bereits früher für Ebenbahnen gemachten Vorschlag, eine Zahnstange zwischen die Schienen zu legen, auf die Bergbahn zur Anwendung brachte. Die erste Zahnradbahn in der Schweiz war die Rigibahn; sie gab das Vorbild für viele andere, die die Herrlichkeiten des Gebirges einem größeren Publikum erschließen halfen.

Ein Aufsatz von *Hilliger* stellt die Entwicklung der für die Sicherheit der Industriebetriebe so überaus wichtigen Dampfkesselaufsicht dar; ein solcher von *Fuchs* gibt einen „Beitrag zur Geschichte der Eisenbrücken in Ungarn". Auch das edle Rebenblut kommt nicht zu kurz. *Häusser* schildert uns, manchmal recht launig, das „Keltern einst und jetzt", die Entwicklung der alten Baum- und Spindelkelter bis zur modernen hydraulischen Presse mit elektrischem Antrieb. Ein kleiner Ausschnitt aus einem entlegenen Gebiet der Technik, der aber wieder zeigt, daß das Entwicklungsgesetz ständig und überall wirksam ist. Aber es gehören wagemutige, von ihren Gedanken voll überzeugte Männer dazu, die Erfindungen in die Wirklichkeit umzusetzen, und ihre Lebensbeschreibung ist besonders reizvoll. Ein solcher Kämpfer auf einem wichtigen Fachgebiet ist *Daniel Peeres*, dessen schicksalvolles Leben uns *Hendrichs* packend schildert. *Peeres* gelang es, hinter das Geheimnis der englischen Fabriken, den Stahlwaren eine schöne Politur zu geben, zu kommen. Er erfand die auch heute noch überall im Gebrauche befindliche Pliestscheibe, und es gelang ihm nach harten Bemühungen und Kämpfen gegen die Zünfte, seiner Erfindung Eingang in die Solinger Meßmachertechnik zu verschaffen und dieser dadurch den erfolgreichen Wettbewerb mit der Sheffieldschen Industrie zu ermöglichen.

Mit einem geistreichen Aufsatze von *Horwitz:* „Beiträge zur außereuropäischen und vorgeschichtlichen Technik" schließt der Band. Bevor *Horwitz* einfache Gebrauchsgegenstände primitiver Völker vom Standpunkt der aus der Kinematik bekannten drei Umschlußpaare (Zylinder-, Prismen- und Schraubenpaar) untersucht, stellt er Betrachtungen über den Ursprung der technischen Entwicklung an. Er führt ihn auf den Spieltrieb der Menschen zurück, dann aber auch auf den Einfluß, den die Änderung der Umwelt auf die Völker bei deren Verschiebung auf dem Erdball ausübt. Man wird hier an *Herders* „Ideen zu einer Philosophie der Geschichte der Menschheit" erinnert. Dieselbe Frage könnte man auch über die Entwicklungsursache der Naturwissenschaft oder der Wissenschaft überhaupt stellen. Sollte es allein der Spieltrieb sein, der die Menschen voran treibt, oder ist es nicht vielmehr der mehr oder weniger bewußte Drang nach Befreiung von den Naturmächten, der eine Technik und eine Naturwissenschaft entstehen ließ? Ich möchte mich hier mehr der Ansicht *Zschimmers* anschließen, welcher in seiner „Philosophie der Technik" das Prinzip der Freiheit als grundlegend für die Technik bezeichnet.

So bietet der vorliegende Band auch für den Naturwissenschaftler reiche Belehrung und Anregung, aus der er sicher Nutzen für die geschichtliche Durchforschung seines Fachgebietes ziehen wird. Der *VII.* Band des Jahrbuches setzt daher nur fort, was die vorhergehenden begonnen. Mögen auch die folgenden in diesem Sinne wirksam sein. *Carl Weihe, Berlin.*

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

In der Sitzung am 2. Juni hielt Prof. *F. Thorbecke* (Köln) einen Vortrag mit Lichtbildern über den **Kulturwert von Wald, Savannen und Steppen im tropischen West-Afrika.** Gegenüber jenen Kreisen, welche den Besitz von überseeischen Kolonien für weniger wichtig halten, als eine feste Verbindung Mittel-Europas mit dem Orient, kann es nicht scharf genug betont werden, daß uns der Orient nie die Nahrungsmittel und industriellen Rohstoffe zu liefern vermag, die wir bisher aus tropischen Gebieten bezogen. West-Afrika hat als Lieferant solcher Rohstoffe, wie der Vortragende auf Grund seiner eigenen Reisen und Studien in Kamerun im einzelnen ausführte, eine glänzende Zukunft. Das ganze tropische West-Afrika, das sich halbkreisförmig um den Golf von Guinea herumzieht, zerfällt in die drei großen natürlichen Landschaften, Wald, Savanne und Steppe, die sich sämtlich durch ihre Großräumigkeit auszeichnen.

Zunächst der Küste, an der fast überall eine furchtbare Brandung die Annäherung erschwert, liegt die Waldzone, die in dichten Mangrovebeständen bis über das Ufer hinaus in das Meer vordringt, während auf den landfesten Teilen die Kokospalme einsetzt. Natürliche Eingangspforten finden sich nur an den Mündungen der Flüsse, die aber keine ungehinderten Verkehrswege in das Hinterland darstellen, weil bereits nahe der Küste die Schiffahrt durch Wasserfälle und Stromschnellen unterbrochen wird. Die Kongofälle sind ein typisches Beispiel dafür. Das riesige Waldgebiet der afrikanischen Hylaea nimmt von etwa 160 km im Norden nach Süden bis auf 700 km Breite zu und umfaßt etwa 600 000 bis 700 000 qkm. Der Wald erscheint, wenn man ihn von einem höher gelegenen Standpunkt aus betrachtet, in mehreren Stockwerken aufgebaut, indem einzelne Baumriesen von 60 bis 70 m Höhe, welche häufig durch Brettwurzeln an ihrer Basis gestützt werden, die Durchschnittshöhen überragen. Lianen, die in Stärken bis zur Schenkeldicke herabhängen, erschweren das Vordringen in dieser wunderbar üppigen Vegetationsform ungemein. Der Wald reicht an den Gebirgen und Einzelbergen überall dort weit empor, wo die aufwärts gerichtete Komponente der Luftströmungen Steigungsregen ver-

ursacht. In diesem, den Gürtel von etwa 1000 bis 2000 m einnehmenden Höhenwalde sind Farnbäume die Leitpflanzen. Darüber folgt der immerfeuchte Nebelwald, in dem besonders häufig Bartflechten vorkommen. Die Temperatur sinkt im Waldgebiet kaum unter 25°; die Regenmenge ist beträchtlich, und am Kamerunberge wurde die zweitgrößte Regenhöhe auf der Erde gemessen. Das Waldgebiet ist ein Feind des Menschen und des Verkehrs. So kam es, daß die einzelnen Stämme schon seit Jahrhunderten, ja vielleicht seit Jahrtausenden mit den nördlich wohnenden Völkern im Verkehr standen, bevor es gelang, vom Meere her in das Walddickicht einzudringen. Am besten haben sich den natürlichen Lebensbedingungen die hier wohnenden Pygmäen angepaßt, die das größte Wild, den Elefanten, mit vergifteten Speeren erlegen. Sie sind daher die Fleischlieferanten der Waldlandneger geworden, kräftiger aber plumper Menschen, die zur Bantugruppe gehören. Die Negerpfade durchziehen den Wald als schmale Linien und auch die Besiedelung bleibt, an die Wege geheftet, linienförmig. Neben den Wohnhäusern wird die Mehlbananenstaude angepflanzt, die riesige Dimensionen annimmt und durch ihren Reichtum an eßbaren Früchten dem Neger jede Anbautätigkeit erspart, die auch aus dem Grunde schwierig ist, weil selbst der gerodete Wald keine tiefe Humusdecke aufweist. Nicht mit Unrecht hat *F. Ratzel* die Banane den Fluch der feuchten Tropen genannt, weil sie den Neger zur Faulheit verführt. Die bis 20 m langen Wedel der Raphiapalme benutzt der Eingeborene zum Hausbau. Die Stämme werden mit dem Bast der gleichen Palme zusammengebunden. Eine Zusammenfügung des Holzes durch Nägel oder Leimen kennt man dort nicht. Die Produkte der Ölpalme, Palmöl und Palmkerne, stellen jetzt das größte Aktivum der Waldlandschaft dar. Vor dem Krieg waren die Gummipflanzen, vor allem die Kixia elastica das wirtschaftliche Rückgrat des Gebietes. Die rücksichtslose Art der Kautschukgewinnung und die Verwüstung der Gummibaumbestände hat sich schwer gerächt, zumal das hier gewonnene Produkt mit dem brasilianischen und hinterindischen Kautschuk nicht konkurrieren kann. Die Zukunft gehört jedenfalls der Ölpalme, deren Fett nicht nur für die Seifen- und Kerzenfabrikation, sondern neuerdings auch für die Herstellung der Speisefette von ständig steigender Bedeutung wird. Daneben hatte der europäische Kolonist auch begonnen den Holzreichtum auszunützen, wobei erschwerend in Betracht kam, daß die Nutzhölzer keine geschlossenen Bestände bilden, wie bei uns, sondern jede Baumart vereinzelt vorkommt, so daß eine forstliche Bewirtschaftung nicht möglich ist. Als Plantagenpflanzen haben sich besonders Kakao und Tabak bewährt, deren rationelle Ausnutzung glänzende Aussichten bietet. Insbesondere nach der Erschöpfung der natürlichen Kautschukbestände werden die großen Reichtümer an diesen Kulturpflanzen von unschätzbarem Wert sein.

Die Grenze des Waldes ist keine scharfe Linie. In Form der Parklandschaft mit größeren und kleineren Waldinseln vollzieht sich der Übergang zu dem Savannengürtel, einer Grasflur mit Uferwäldern an den Flußläufen, die meist mit einer von *H. Schweinfurth* geprägten Benennung als Galeriewälder bezeichnet werden. Namentlich die Ölpalme reicht weit hinein in die offene Grasflur und beherrscht noch anfangs das Bild der Landschaft. Nach dem Durchdringen des feuchten Waldlandes atmet man befreit auf in dem offenen Grasland. In dieser Baumsavanne heben sich die Galeriewälder wie dunklere Schlangen aus der lichtgrünen Graslandschaft ab. Auch eine flächenhafte Ausbreitung des Waldes kommt vor, der Monsunwald *Schimpers*. Die hier schon einsetzende Trockenzeit hat einen Laubabfall zur Folge, der aber nicht alle Bäume gleichzeitig betrifft, so daß man kahle und voll belaubte Bäume nebeneinander sieht. Häufig vorkommende Inselberge zeigen eine schalige Abwitterung, die durch starke Temperaturdifferenzen hervorgerufen wird. Der Vortragende konnte innerhalb 24 Stunden 45° und 3° Lufttemperatur messen. Die rasche chemische Verwitterung im Verein mit der Flächenspülung in der Regenzeit bringt es mit sich, daß sich am Fuße der Felsen keine Gesteinstrümmer anhäufen können. Die Inselberge haben den Pygmäen oft als Rückzugsgebiete gedient. Der Savannenneger ist sympathischer als der Waldneger. Der Raum gestattet die Siedelung in offener Bauweise durchzuführen. Die Kegeldachhütte, deren Wände durch Ausschmierung mit Lehm wasserdicht gemacht sind, erinnert an den Sudan. Mattenzäune teilen die Straßen ab. Eine intensive Bearbeitung der Felder durch Hackbau greift Platz, wobei nicht wie im Waldlande die Frau, sondern der Mann arbeitet. Da eine Vorratswirtschaft über die Zeit der Dürre hinweghelfen muß, so werden Körnerfrüchte gebaut, vor allem die Negerhirse, Sorghum, und Vorratsspeicher angelegt. Das Töpfergewerbe wird ohne Drehscheibe ausgeübt. Trotzdem gelingt es, Gefäße bis zu 1.5 m Durchmesser herzustellen. Der Mangel an gleichmäßiger Wärme zwingt die Bevölkerung zur Bekleidung, und so sehen wir hier eine uralte Kultur der Baumwolle, die auf primitiven Webstühlen zu Stoffen verarbeitet wird. Die Staatenbildung ist hier oben heimisch. Interessant ist die Holzarchitektur der Eingeborenen, von der leider ein besonders schöner Teil in Bamum noch vor dem Kriege ein Raub der Flammen wurde.

Die Steppe ist das eigentliche Trockengebiet, in dem die Grashalme, die in der Savanne noch bis 6 m Länge erreichen können, auf ½ m reduziert sind. Hier finden wir hamitische Hirtenvölker, Träger des Islam. Sie haben zwei Kulturgüter gebracht, das Pferd und das Rind, das zur Milchwirtschaft benutzt wird. Das Handelsvolk der Haussa bedient sich vielfach des Esels als Tragtier.

Savanne wie Steppe sind teilweise dicht besiedelt von einer kulturell hochstehenden, arbeitsamen und entwicklungsfähigen Bevölkerung, die unter europäischem Einfluß und geeigneter Anleitung sicher noch bedeutende wirtschaftliche Werte hervorbringen könnte. Zu einer gedeihlichen Entwicklung fehlen aber bisher moderne Verkehrsmittel, vor allen Dingen Eisenbahnen. Noch heute ist man auf die unwirtschaftlichste aller Transportmethoden, den Trägerverkehr angewiesen, der nur etwa ½ Tonnenkilometer täglich leistet. Ein Güterzug würde ebensoviel transportieren können wie 13 300 Neger, d. h. eine 30 km lange Trägerkarawane und noch dazu zwanzig- bis fünfundzwanzigmal billiger. Nur die Eisenbahn also kann hier Wandel schaffen und alle jene natürlichen Entwicklungsmöglichkeiten zu glänzender Entfaltung bringen. Wenn uns der Friede ein in sich geschlossenes großes deutsches Kolonialreich im tropischen Afrika bringen sollte, dann wird in seinem Rahmen West-Afrika einer hohen Blüte entgegengehen. *O. B.*

Für die Redaktion verantwortlich: *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann in Berlin SW.